

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-283194

(43)Date of publication of application : 29.10.1993

(51)Int.Cl.

H05H 1/46  
G23C 16/50  
H01L 21/302

(21)Application number : 04-074800

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 31.03.1992

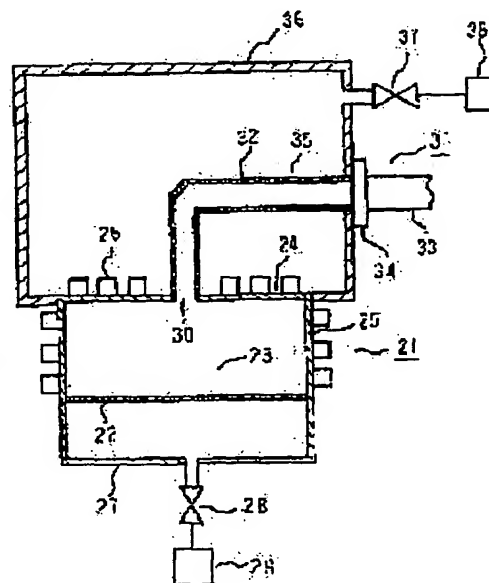
(72)Inventor : HASHIMOTO KIYOSHI  
ASANO SHIRO

## (54) MICROWAVE PLASMA GENERATOR

## (57)Abstract:

**PURPOSE:** To efficiently increase the plasma density and save the labor for maintenance by maintaining the inside near one end section fitted to the discharge container of a wave guide at the pressure lower than that in the discharge container.

**CONSTITUTION:** The inside of a discharge container 2 is decompressed to the preset pressure by an exhaust device 29, and the hydrogen gas forming plasma is introduced into the container 21. A low-pressure container 36 is exhausted by an exhaust device 38, and the inside of a connecting pipe section 32 communicated with it via small holes 35 is maintained at the pressure lower than that in the container 21. Microwaves propagated in the main pipe section 33 and connection pipe section 32 of a wave guide 31 are introduced into the container 21 through a vacuum window 34 and an opening 30, and discharge plasma is generated in the container 21. The plasma is confined in a space 23 by the magnetic field of permanent magnets 26. The window 34 is fitted at one end invisible from the other end of the connecting pipe section 32 of the container 21, it is formed invisibly from the opening of the container 21, it is not directly exposed to plasma, and the labor for maintenance is saved.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 12.01.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 13.02.2001

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-283194

(43)公開日 平成 5 年(1993)10月29日

(51)IntCl.<sup>5</sup>

H 0 5 H 1/46

C 2 3 C 16/50

H 0 1 L 21/302

識別記号

庁内整理番号

F 1

技術表示箇所

9014-2G

7325-4K

B 8518-4M

審査請求 未請求 請求項の数 3 (全 11 頁)

(21)出願番号 特願平4-74800

(22)出願日 平成 4 年(1992) 3 月31日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 橋本 清

神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株  
式会社東芝総合研究所内

(72)発明者 浅野 史朗

神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株  
式会社東芝総合研究所内

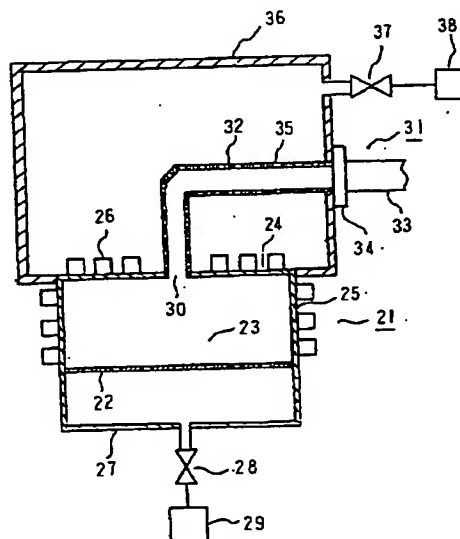
(74)代理人 弁理士 大胡 典夫

(54)【発明の名称】 マイクロ波プラズマ発生装置

(57)【要約】

【目的】 効率よくプラズマ密度を高くすることができ、保守等に手間を要しないマイクロ波プラズマ発生装置を提供する。

【構成】 放電容器 2 1 に取着された導波管 3 1 の接続管部 3 2 が曲管状で、他端に真空窓 3 4 が設けられ、その内部が放電容器 2 1 内より低圧力に維持されるように構成されていることにより、放電容器 2 1 に連通して同じ雰囲気状態となっている接続管部 3 2 の内部では、放電容器 2 1 内にプラズマが生成される状態であっても放電容器 2 1 内より低圧力であるためプラズマが生成されず、導波管 3 1 内のマイクロ波の伝送が妨げられることなく、真空窓 3 4 はプラズマを直視しない位置に設けられているので、放電容器 2 1 内のプラズマに晒されたり、プラズマの熱の影響を受けず、損傷を受けたり汚染されたりすることがない。



2 1…放電容器

3 1…導波管

3 4…真空窓

3 6…低圧容器

2 3…プラズマ閉込め空間

3 2…接続管部

3 5…小孔

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 内部が減圧された放電容器と、この放電容器内に区画された所定ガスのプラズマが形成されるプラズマ閉じ込め空間と、このプラズマ閉じ込め空間にマイクロ波を導入するように前記放電容器に片端部が取着された導波管とを備えたマイクロ波プラズマ発生装置において、前記導波管は、前記放電容器に取着された片端部近傍内部が前記放電容器内より低圧力に維持されていることを特徴とするマイクロ波プラズマ発生装置。

【請求項2】 内部が減圧された放電容器と、この放電容器内に区画された所定ガスのプラズマが形成されるプラズマ閉じ込め空間と、このプラズマ閉じ込め空間にマイクロ波を真空窓を介して導入するよう前記放電容器に片端部が取着された導波管とを備えたマイクロ波プラズマ発生装置において、前記真空窓が前記導波管の中間部に装着されると共に、前記導波管は前記放電容器に取着された片端部と前記真空窓が装着された中間部との間が空孔を有する管壁で形成され、且つ前記空孔を有する管壁が前記放電容器内より低圧力に維持された減圧容器内に配設されていることを特徴とするマイクロ波プラズマ発生装置。

【請求項3】 内部が減圧された放電容器と、この放電容器内に区画された所定ガスのプラズマが形成されるプラズマ閉じ込め空間と、このプラズマ閉じ込め空間にマイクロ波を真空窓を介して導入するよう前記放電容器に片端部が取着された導波管とを備えたマイクロ波プラズマ発生装置において、前記真空窓は前記プラズマ閉じ込め空間に形成されるプラズマを直視しない位置に設けられていることを特徴とするマイクロ波プラズマ発生装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、例えば種々の装置のイオン源として用いられているマイクロ波プラズマ発生装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 従来、マイクロ波プラズマ発生装置は、核融合のための中性粒子入射加熱装置の負イオン源や、半導体装置の製造に使用されるプラズマドライエッチング装置、及びプラズマ気相成長装置等のイオン源に用いられている。

【0003】 以下、マイクロ波プラズマ発生装置の従来例を図6及び図7を参照して説明する。図6は第1の例の概略構成を示す断面図であり、図7は第2の例の概略構成を示す要部断面図である。

【0004】 先ず、第1の例を説明する。図1において、1は放電容器であり、この放電容器1の上板2に形成された開口3には導波管4の片端が取着されている。また導波管4の他端は図示しないマイクロ波発生部に取着されていて、放電容器1内にマイクロ波が導入される

ようになっている。さらに放電容器1内には、図示しないガス導入口からプラズマを形成する所定のガス、例えば水素ガス(H<sub>2</sub>)等が導入されるようになっている。

【0005】 そして放電容器1の上板2の開口3は、放電容器1内に導入されるマイクロ波に対して透明な材料、例えばアルミナセラミック等である真空窓5によって気密に閉塞されている。これによって放電容器1内の圧力状態が保持されることになる。

【0006】 また、放電容器1は、その内部が中間部に設けられた金属メッシュ6によって上下に仕切られていて、放電容器1内部の金属メッシュ6の上方側にプラズマ閉じ込め空間7が形成されるようになっている。さらに放電容器1の上板2の外表面及び側壁8上部の外表面にはそれぞれ永久磁石9が列状に配着されていて、これらの永久磁石9によってプラズマ閉じ込め空間7に効果的にプラズマを閉じ込める磁界が形成されている。

【0007】 一方、放電容器1の底板10には、バルブ11を介して真空ポンプ等の排気装置12が取着されていて、放電容器1は、その内部が、例えば10<sup>-3</sup> Torr台に減圧されるようになっている。

【0008】 上述のように構成された従来の第1の例のマイクロ波プラズマ発生装置は、排気装置12によって放電容器1内を所定の圧力となるように減圧しておき、この状態を維持しながら放電容器1内に所定のガスが導入される。その後、マイクロ波発生源から導波管4内を伝搬してきたマイクロ波が、開口3を閉塞している真空窓5を介して放電容器1内に導入される。

【0009】 これによりマイクロ波は、周波数に応じた共鳴磁界でプラズマ電子と共鳴し、マイクロ波電界により電子を高エネルギーに加速し、この相互作用によって放電容器1内に放電プラズマが生成する。この時生成した放電プラズマは、プラズマ閉じ込め空間7に永久磁石9の形成する磁界によって閉じ込められる。

【0010】 しかし、真空窓5は、プラズマ閉じ込め空間7内に露出した状態で導波管4が接続された開口3を気密に閉塞しており、そのためプラズマ閉じ込め空間7に閉じ込められたプラズマに直接晒されることになる。それ故、アルミナセラミック等の材料であり、熱的、機械的に弱い真空窓5は、プラズマによって損傷を受け易く寿命が短いもので、交換の頻度が高いものとなり保守等に手間を有するものであった。

【0011】 また、プラズマによってプラズマ閉じ込め空間7内に配置した金属試料等の表面をスパッタリングする場合や、試料表面に金属薄膜を気相成長で形成する場合などでは、真空窓5が金属で汚染され、マイクロ波が放電容器1内に導入され難くなって放電容器1内のプラズマ密度をさらに高くすることができなかった。

【0012】 このため真空窓5が、プラズマ閉じ込め空間7内に露出しないようにする構造がとられるようになった。次ぎにそのような構造の第2の例について説明す

10

20

30

40

50

る。

【0013】図2において、真空窓13は、片端が放電容器1の開口3に取着され、他端が図示しないマイクロ波発生部に取着された導波管14の中間部に、導波管14のマイクロ波の伝送路を途中で遮断するように装着されている。なお真空窓13は、第1の例と同様にマイクロ波に対して透明な材料で形成されている。

【0014】そして、マイクロ波発生部から導波管14内を中間部まで伝搬してきたマイクロ波は、真空窓13を透過して導波管14の片端部から開口3を経て放電容器1内のプラズマ閉込め空間7に導入される。

【0015】上述のように構成された従来の第2の例のマイクロ波プラズマ発生装置は、第1の例と同様に減圧された放電容器1内に所定のガスが導入される。そして導波管14内を、真空窓13を透過し伝搬してきたマイクロ波が開口3から放電容器1内に導入されて、放電プラズマが生成する。生成した放電プラズマは、プラズマ閉込め空間7に永久磁石9の形成する磁界によって閉じ込められる。

【0016】そして、真空窓13が、直接プラズマ閉込め空間7内に露出せずにプラズマから離間して配置されているので、プラズマによる熱的、機械的な損傷や汚染を受け難くなっているが、充分なものではなく保守等に手間を有するものであった。

【0017】しかしながら、導波管14の片端から真空窓13が装着された中間部までの間は、その内部が開口3によって放電容器1内と連通した状態となっているため、放電容器1と同じガス雰囲気となる。このため、放電容器1内に生成するプラズマの密度をさらに高くしようとして、放電容器1内のガス圧力やマイクロ波の電力を増大させると、導波管14の片端から真空窓13が装着された中間部までの間の片端部内部でもプラズマが生成する虞がある。

【0018】そして、プラズマが導波管14の片端部内部に生成された場合には、導波管14内に生成されたプラズマによってマイクロ波の伝送が妨げられ、放電容器1内のプラズマ密度をより高くするためには、マイクロ波発生部の電力をさらに大きくしなければならず、効率よく放電容器1内に生成するプラズマの密度を高くすることができなくなる。

【0019】

【発明が解決しようとする課題】上記のように従来の装置では、効率よくプラズマ密度を高くすることが困難であり、また真空窓がプラズマによって熱的、機械的な損傷や汚染を受け、保守等に手間を有するものである。本発明は、このような状況に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、効率よくプラズマ密度を高くすることができ、また真空窓がプラズマによる損傷や汚染を受け難く、保守等に手間を要しないマイクロ波プラズマ発生装置を提供することにある。

【0020】

【課題を解決するための手段】本発明のマイクロ波プラズマ発生装置は、内部が減圧された放電容器と、この放電容器内に区画された所定ガスのプラズマが形成されるプラズマ閉じ込め空間と、このプラズマ閉じ込め空間にマイクロ波を導入するように放電容器に片端部が取着された導波管とを備えたマイクロ波プラズマ発生装置において、導波管は、放電容器に取着された片端部近傍内部が放電容器内より低圧力に維持されていることを特徴とするものであり、また、内部が減圧された放電容器と、この放電容器内に区画された所定ガスのプラズマが形成されるプラズマ閉じ込め空間と、このプラズマ閉じ込め空間にマイクロ波を真空窓を介して導入するよう放電容器に片端部が取着された導波管とを備えたマイクロ波プラズマ発生装置において、真空窓が導波管の中間部に装着されると共に、導波管は放電容器に取着された片端部と真空窓が装着された中間部との間が空孔を有する管壁で形成され、且つ空孔を有する管壁が放電容器内より低圧力に維持された減圧容器内に配設されていることを特徴とするものであり、さらに、内部が減圧された放電容器と、この放電容器内に区画された所定ガスのプラズマが形成されるプラズマ閉じ込め空間と、このプラズマ閉じ込め空間にマイクロ波を真空窓を介して導入するよう放電容器に片端部が取着された導波管とを備えたマイクロ波プラズマ発生装置において、真空窓はプラズマ閉じ込め空間に形成されるプラズマを直視しない位置に設けられていることを特徴とするものである。

【0021】

【作用】上記のように構成されたマイクロ波プラズマ発生装置は、導波管の放電容器に取着された片端部近傍内部が放電容器内より低圧力に維持されている構成としたことにより、放電容器に連通して同じ雰囲気状態となっている導波管の片端部の内部では、放電容器内にプラズマが生成される状態であっても放電容器内より低圧力であるためプラズマが生成されず、導波管内のマイクロ波の伝送が妨げられることがない。また、導波管の途中に装着される真空窓がプラズマを直視しない位置に設けられている構成としたことにより、放電容器内に生成されたプラズマに真空窓が直接晒されたり、プラズマの熱が当たることがなく、損傷を受けたり汚染されたりすることがない。このため、効率よくプラズマ密度を高くすることができ、また真空窓がプラズマによる損傷や汚染を受け難く、保守等に手間を必要としない。

【0022】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面を参照して説明する。

【0023】先ず、第1の実施例のマイクロ波プラズマ発生装置を図1乃至図4により説明する。図1は概略構成を示す断面図であり、図2は拡大して示す要部斜視図であり、図3及び図4はそれぞれ導波管の接続管部の変

形例を示す斜視図である。

【0024】図1及び図2において、放電容器21は略円筒状に形成された気密容器で、図示しないガス導入口からプラズマを形成する所定のガス、例えば水素ガス( $H_2$ )等が導入されるようになっている。また放電容器21は、内部が中間部に設けられた金属メッシュ22によって上下に仕切られていて、放電容器21内部の金属メッシュ22の上方側にプラズマ閉込め空間23が形成されるようになっている。

【0025】さらに、放電容器21の上板24の外面及び側壁25上部の外面には、それぞれ円環状の複数の永久磁石26が配着されていて、これらの永久磁石26によってプラズマ閉込め空間23に、効果的にプラズマを閉じ込める磁界が形成されている。

【0026】一方、放電容器21の底板27には、バルブ28を介して真空ポンプ等の第1の排気装置29が取着されており、これにより放電容器21の内部が、例えば $10^{-3}$  Torr台に減圧されるようになっている。

【0027】また、放電容器21は、その上板24に開口30が形成されていて、この開口30には、導波管31の片端側を構成する矩形の断面形状を有する接続管部32の片端が接続されている。接続管部32の他端には、導波管31の他端側を構成する同じく矩形の断面形状を有する主管部33の片端が接続されており、主管部33の他端は、例えば周波数が2.45GHzのマイクロ波を発生する図示しないマイクロ波発生部に接続されている。

【0028】そして、導波管31の接続管部32の他端と主管部33の片端との接続部位には、マイクロ波に対して透明な材料、例えばアルミナセラミック等である真空窓34が、その主面が導波管31のマイクロ波の伝送路に交差するように装着されていて、これにより接続管部32の伝送路と主管部33の伝送路とは気密に分断されている。

【0029】一方、放電容器21に片端が接続された導波管31の接続管部32は、中間部分が略直角に折り曲げられた曲管状を有するもので、片端から他端が見通すことができないように形成されている。また接続管部32は管壁に直径が約1mm程度の多数の小孔35が穿設されている。なお小孔35の孔径は、導波管31内を伝送されるマイクロ波の伝送に実質的に影響を与えないように、波長の $1/100$ 以下程度の寸法に形成されていればよい。

【0030】そして、マイクロ波発生部で発生したマイクロ波が、導波管31の主管部33及び接続管部32内を伝搬し、途中真空窓34を透過して開口30から放電容器21内に導入されるようになっている。

【0031】また、放電容器21の上板24の上面側には、この上板24を底板とするようにして低压容器36が設けられている。そして低压容器36の内部に、その

側壁を他端部分が気密に貫通するようにして導波管31の接続管部32が配設されている。さらに低压容器36の側壁には、バルブ37を間に設けて真空ポンプ等の第2の排気装置38が取着されている。

【0032】この第2の排気装置38によって低压容器36の内部が排気され、この内部と管壁に形成された小孔35を介して連通している接続管部32の内部が、放電容器21の内部より低压の減圧された状態になるようになっている。

【0033】このように構成された本実施例では、第1の排気装置29によって放電容器21内を $10^{-3}$  Torr台の所定の圧力となるように減圧しておき、この状態を維持しながらプラズマを形成する水素ガスが放電容器21内に導入される。同時に第2の排気装置38によって低压容器36内を排気し、これに小孔35を介して連通している接続管部32内が放電容器21内よりも低压の状態に維持されている。

【0034】その後、マイクロ波発生源から導波管31の主管部33内及び接続管部32内を伝搬してきたマイクロ波が、導波管31の伝送路を途中で分断するように装着された真空窓34を透過し、開口30を介して放電容器21内に導入される。

【0035】これによりマイクロ波は、周波数に応じた共鳴磁界でプラズマ電子と共鳴し、マイクロ波電界により電子を高エネルギーに加速し、この相互作用によって放電容器21内に放電プラズマが生成する。この時生成した放電プラズマは、プラズマ閉込め空間23に永久磁石26の形成する磁界によって閉じ込められる。

【0036】このとき真空窓34は、放電容器21に接続された接続管部32の片端から見通すことができない他端に装着され、放電容器21の開口30からも見通すことができないように形成されているので、放電容器21内に生成されたプラズマに直接晒されたり、プラズマの熱が当たることがない。

【0037】このため熱的、機械的に弱い材料で形成された真空窓34が、プラズマによって損傷を受けて破損することがなくなり、その寿命が長いものとなる。さらに真空窓34の交換の頻度が少なくなって保守等の手間が少なくなる。

【0038】また、プラズマによってプラズマ閉込め空間23内に配置した金属試料等の表面をスパッタリングする場合や、試料表面に金属薄膜を気相成長で形成する場合などでも、真空窓34が金属で汚染されなくなり、これによってマイクロ波が放電容器21内に導入され難くなることなくなくなる。

【0039】さらに、真空窓34を透過した後の放電容器21のマイクロ波の伝送路は、管壁に小孔35が形成された導波管31の接続管部32で構成され、第2の排気装置38によって放電容器21よりも低压に維持できるようになっているので、プラズマを形成する水素ガス

が存在していてもプラズマが形成され難い状態にすることができる。

【0040】このため、放電容器21内に生成するプラズマの密度をさらに高くしようとして放電容器21内のガス圧力やマイクロ波の電力を増大させても、接続管部32の内部圧力を第2の排気装置38によって放電容器21よりも低圧に維持することで、接続管部32内にプラズマが生成する虞がない。

【0041】そして、接続管部32内にプラズマが生成されないでマイクロ波の伝送が妨げられることがなく、放電容器21内のプラズマ密度をより高くする場合においても、接続管部32内にプラズマが生成されてマイクロ波の伝送が妨げられるのを考慮し、マイクロ波発生部の電力をさらに大きくする必要もなく、効率よく放電容器21内に生成するプラズマの密度を高くすることができる。

【0042】なお、本実施例では、導波管31の接続管部32を、矩形的の断面形状を有し管壁に直径が約1mm程度の多数の小孔35が穿設されているもので構成したが、これに限るものではなく、図3に斜視図で第1の変形例を示すようにマイクロ波の伝送に影響を与えない範囲で、波長に応じた空孔寸法の金属メッシュで接続管部39を構成してもよい。また、図4に斜視図で第2の変形例を示すように同じくマイクロ波の伝送に影響を与えない範囲で、円形の断面形状を有し管壁に多数の小円孔40が穿設されるようにして接続管部41を構成してもよい。さらに管壁に穿設する小孔についても特に円形である必要はない。

【0043】次に、第2の実施例を図5により説明する。本実施例はマイクロ波プラズマ発生装置で生成されたプラズマから負イオンビームを引き出す負イオン源で、図5は負イオン源の概略構成を示す断面図である。

【0044】図5において、放電容器51は下側に外周にフランジ52を有する開口部53が形成された略円筒状の容器で、その内部が図示しない排気装置により、例えば $10^{-3}$  Torr台に減圧されるようになっている。また放電容器51の内部には、図示しないガス導入口からプラズマを形成する所定のガス、例えば水素ガス( $H_2$ )等が導入されるようになっている。

【0045】さらに、放電容器51は上板54及び側壁55の外面に、それぞれ円環状の複数の永久磁石56が配着されている。これらの永久磁石56によって放電容器51の内部にプラズマを閉じ込めるための磁界が形成され、プラズマ閉込め空間57が区画されている。

【0046】また、放電容器51の下側の開口部53は、フランジ52に絶縁リング56を間に介在させて電極部59が取着されて閉塞されている。この電極部59は、複数の電極60がそれぞれの間が絶縁部材61によって絶縁分離されている。なお電極60は中央部分に複数の負イオン引出孔62が穿設されている。

【0047】一方、放電容器51は、第1の実施例と同様にその上板54に開口30が形成されていて、この開口30には、導波管31の略直角に折り曲がった曲管で管壁に多数の小孔35が穿設された接続管部32の片端が接続されている。接続管部32の他端には主管部33の片端が接続されており、主管部33の他端は、例えば周波数が2.45GHzのマイクロ波を発生する図示しないマイクロ波発生部に接続されている。

【0048】そして、接続管部32と主管部33との接続部位には、マイクロ波に対して透明な材料、例えばアルミナセラミック等なる真空窓34が、その主面が導波管31のマイクロ波の伝送路に交差するように装着されていて、これにより接続管部32の伝送路と主管部33の伝送路とは気密に分断されている。

【0049】また、放電容器51の上板54の上面側には、この上板54を底板とするようにして低压容器36が設けられ、低压容器36の内部に接続管部32が配設されている。そして低压容器36の側壁には、バルブ37を間に設けて真空ポンプ等の排気装置63が取着されている。

【0050】この排気装置63によって低压容器36の内部が排気され、この内部と管壁に形成された小孔35を介して連通している接続管部32の内部が、放電容器51の内部より低圧の減圧された状態になるようになっている。

【0051】このように構成された本実施例では、図示しない排気装置によって放電容器51内を $10^{-3}$  Torr台の所定の圧力となるように減圧しておき、この状態を維持しながらプラズマを形成する水素ガスが放電容器51内に導入される。同時に排気装置63によって低压容器36内を排気し、これに小孔35を介して連通している接続管部32内が放電容器21内よりも低圧の状態に維持されている。

【0052】その後、マイクロ波発生源から導波管31内を伝搬してきたマイクロ波が、導波管31の伝送路を途中で分断するように装着された真空窓34を透過し、開口30を介して放電容器51内に導入される。

【0053】これによりマイクロ波は、周波数に応じた共鳴磁界でプラズマ電子と共鳴し、マイクロ波電界により電子を高エネルギーに加速し、この相互作用によって放電容器51内に放電プラズマが生成する。この時生成した放電プラズマは、プラズマ閉込め空間57に永久磁石56の形成する磁界によって閉じ込められる。

【0054】そして、プラズマ閉込め空間57に閉じ込められたプラズマから永久磁石56で形成される磁気フィルタを負水素イオンが通過し、さらに電極60を通過しながら加速され、負イオン引出孔62から外部に負イオンビームとして引き出される。

【0055】上述のように本実施例は構成されているので、第1の実施例と同様に真空窓34が、プラズマによ

って損傷を受けなくなり、その交換の頻度が少なくなつて保守等の手間が少なくなる。また放電容器 51 内のプラズマ密度をより高くする場合でも、マイクロ波発生部の電力を徒に大きくする必要もなく、効率よくこれを行うことができる。

【0056】尚、本発明は上記の各実施例のみに限定されるものではなく、要旨を逸脱しない範囲内で適宜変更して実施し得るものである。

【0057】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明は、導波管の放電容器に取着された片端部近傍内部が放電容器内より低圧力に維持されている構成としたことにより、また、導波管の途中に装着される真空窓がプラズマを直視しない位置に設けられている構成としたことにより、効率よくプラズマ密度を高くすることができ、また真空窓がプラズマによる損傷や汚染を受け難く、保守等に手間を必要としない等の効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施例の概略構成を示す断面図である。

【図 2】同上における導波管の接続管部の斜視図である。

【図 3】同上における導波管の接続管部の第 1 の変形例を示す斜視図である。

【図 4】同上における導波管の接続管部の第 2 の変形例を示す斜視図である。

【図 5】本発明の第 2 の実施例の概略構成を示す断面図である。

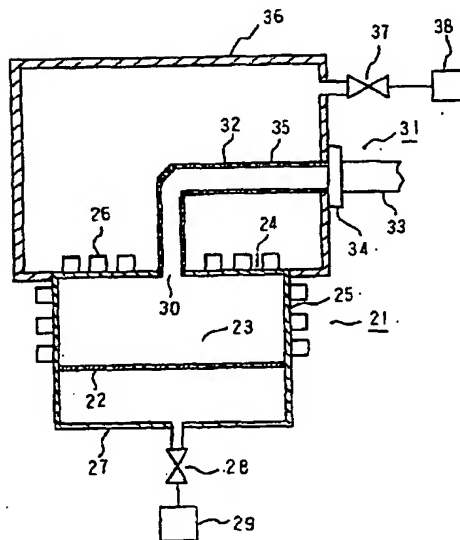
【図 6】従来技術の第 1 の例の概略構成を示す断面図である。

【図 7】従来技術の第 2 の例の概略構成を示す断面図である。

【符号の説明】

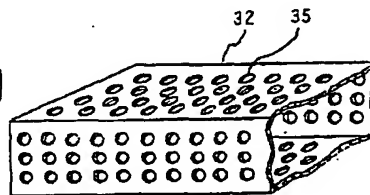
- 21…放電容器
- 23…プラズマ閉込め空間
- 29…第 1 の排気装置
- 31…導波管
- 32…接続管部
- 33…主管部
- 34…真空窓
- 35…小孔
- 36…低圧容器
- 38…第 2 の排気装置

【図 1】

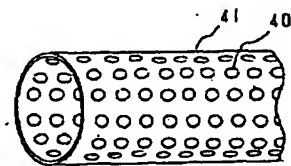


- 21…放電容器
- 23…プラズマ閉込め空間
- 31…導波管
- 32…接続管部
- 34…真空窓
- 35…小孔
- 36…低圧容器

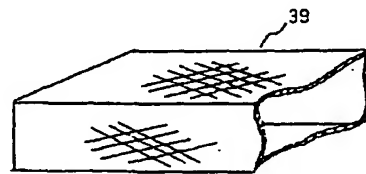
【図 2】



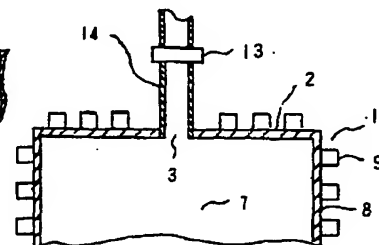
【図 4】



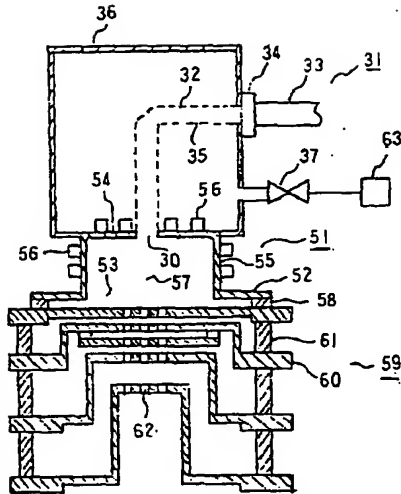
【図 3】



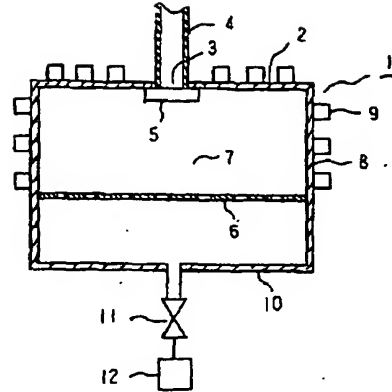
【図 7】



【図5】



【図6】



## 【手続補正書】

【提出日】平成4年7月22日

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】マイクロ波プラズマ発生装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 内部が減圧された放電容器と、この放電容器内に区画された所定ガスのプラズマが形成されるプラズマ閉じ込め空間と、このプラズマ閉じ込め空間にマイクロ波を導入するように前記放電容器に片端部が装着された導波管とを備えたマイクロ波プラズマ発生装置において、前記導波管は、前記放電容器に装着された片端部近傍内部が前記放電容器内より低圧力に維持されていることを特徴とするマイクロ波プラズマ発生装置。

【請求項2】 内部が減圧された放電容器と、この放電容器内に区画された所定ガスのプラズマが形成されるプラズマ閉じ込め空間と、このプラズマ閉じ込め空間にマイクロ波を真空窓を介して導入するよう前記放電容器に片端部が装着された導波管とを備えたマイクロ波プラズマ発生装置において、前記真空窓が前記導波管の中間部に装着されると共に、前記導波管は前記放電容器に装着された片端部と前記真空窓が装着された中間部との間が空孔を有する管壁で形成され、且つ前記空孔を有する管壁が前記放電容器内より低圧力に維持された減圧容器内に配設されていることを特徴とするマイクロ波プラズマ

発生装置。

【請求項3】 内部が減圧された放電容器と、この放電容器内に区画された所定ガスのプラズマが形成されるプラズマ閉じ込め空間と、このプラズマ閉じ込め空間にマイクロ波を真空窓を介して導入するよう前記放電容器に片端部が装着された導波管とを備えたマイクロ波プラズマ発生装置において、前記真空窓は前記プラズマ閉じ込め空間に形成されるプラズマを直視しない位置に設けられていることを特徴とするマイクロ波プラズマ発生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、例えば種々の装置のイオン源として用いられているマイクロ波プラズマ発生装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、マイクロ波プラズマ発生装置は、核融合のための中性粒子入射加熱装置のイオン源や、半導体装置の製造に使用されるプラズマドライエッチング装置、及びプラズマ気相成長装置等のプラズマ源やイオン源に用いられている。

【0003】 以下、マイクロ波プラズマ発生装置の従来例を図6及び図7を参照して説明する。図6は第1の従来例の概略構成を示す断面図であり、図7は第2の従来例の概略構成を示す要部断面図である。

【0004】 先ず、第1の従来例を説明する。図6において、1は放電容器であり、この放電容器1の上板2に形成された開口3には導波管4の片端が装着されてい



る。また導波管4の他端は図示しないマイクロ波発生部に装着されていて、放電容器1内にマイクロ波が導入されるようになっている。さらに放電容器1内には、図示しないガス導入口からプラズマを形成する所定のガス、例えば水素ガス(H<sub>2</sub>)等が導入されるようになっている。

【0005】そして放電容器1の上板2の開口3は、放電容器1内に導入されるマイクロ波に対して透明な材料、例えばアルミナセラミック等である真空窓5によって気密に閉塞されている。これによって放電容器1内の圧力状態が保持されることになる。

【0006】また、放電容器1は、その内部が中間部に設けられた金属メッシュ6によって上下に仕切られていて、放電容器1内部の金属メッシュ6の上方側にプラズマ閉込め空間7が形成されるようになっている。さらに放電容器1の上板2の外面及び側壁8上部の外面にはそれぞれ永久磁石9が列状に配着されていて、これらの永久磁石9によってプラズマ閉込め空間7に効果的にプラズマを閉じ込める磁界が形成されている。

【0007】一方、放電容器1の底板10には、バルブ11を介して真空ポンプ等の排気装置12が装着されていて、放電容器1は、その内部が、例えば0.1Pa台に減圧されるようになっている。

【0008】上述のように構成された第1の従来例のマイクロ波プラズマ発生装置は、排気装置12によって放電容器1内を所定の圧力となるように減圧しておき、この状態を維持しながら放電容器1内に所定のガスが導入される。その後、マイクロ波発生源から導波管4内を伝搬してきたマイクロ波が、開口3を閉塞している真空窓5を介して放電容器1内に導入される。

【0009】そして、マイクロ波電界により電子が高エネルギーに加速され、放電容器1内に放電プラズマが生成される。この時生成された放電プラズマは、プラズマ閉込め空間7に永久磁石9の形成する磁界によって閉じ込められる。

【0010】しかし、真空窓5は、プラズマ閉込め空間7内に露出した状態で導波管4が接続された開口3を気密に閉塞しており、そのためプラズマ閉込め空間7に閉じ込められたプラズマに直接晒されることになる。それ故、アルミナセラミック等の材料からなる熱的、機械的に弱い真空窓5は、プラズマによって損傷を受け易く寿命が短いもので、交換の頻度が高いものとなり保守等に手間を有するものであった。

【0011】また、プラズマによってプラズマ閉込め空間7内に配置した金属試料等の表面をスパッタリングする場合や、試料表面に金属薄膜を気相成長で形成する場合などでは、真空窓5が金属で汚染され、マイクロ波が放電容器1内に導入され難くなって放電容器1内のプラズマ密度をさらに高くすることができなかった。

【0012】このため真空窓5が、プラズマ閉込め空間

7内に露出しないようにする構造がとられるようになった。次にそのような構造の第2の従来例について説明する。

【0013】図7において、真空窓13は、片端が放電容器1の開口3に装着され、他端が図示しないマイクロ波発生部に装着された導波管14の中間部に、導波管14のマイクロ波の伝送路を途中で遮断するように装着されている。なお真空窓13は、第1の従来例と同様にマイクロ波に対して透明な材料で形成されている。

【0014】そして、マイクロ波発生部から導波管14内を中間部まで伝搬してきたマイクロ波は、真空窓13を透過して導波管14の片端部から開口3を経て放電容器1内のプラズマ閉込め空間7に導入される。

【0015】上述のように構成された第2の従来例のマイクロ波プラズマ発生装置は、第1の例と同様に減圧された放電容器1内に所定のガスが導入される。そして導波管14内を、真空窓13を透過して伝搬してきたマイクロ波が開口3から放電容器1内に導入されて、放電プラズマが生成される。生成された放電プラズマは、プラズマ閉込め空間7に永久磁石9の形成する磁界によって閉じ込められる。

【0016】そして、真空窓13が、直接プラズマ閉込め空間7内に露出せずにプラズマから離間して配置されているので、プラズマによる熱的、機械的な損傷や汚染を受け難くなっている。

【0017】しかしながら、導波管14の片端から真空窓13が装着された中間部までの間は、その内部が開口3によって放電容器1内と連通した状態となっているため、放電容器1と同じガス雰囲気となる。このため、放電容器1内で生成されるプラズマの密度をさらに高くしようとして、放電容器1内のガス圧力やマイクロ波の電力を増大させると、導波管14の片端から真空窓13が装着された中間部までの間の片端部内部でもプラズマが生成する虞がある。

【0018】そして、プラズマが導波管14の片端部内部に生成された場合には、導波管14内に生成されたプラズマによってマイクロ波の伝送が妨げられる。導波管内のプラズマ密度が高くなるとマイクロ波をしゃ断するようになり、放電容器1内にマイクロ波パワーが到達しなくなり、効率よく放電容器1内に生成するプラズマの密度を高くすることができなくなる。

【0019】

【発明が解決しようとする課題】上記のように従来の装置では、効率よくプラズマ密度を高くすることが困難であった。本発明は、このような状況に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、効率よくプラズマ密度を高くすることができ、また真空窓がプラズマによる損傷や汚染を受け難く、保守等に手間を要しないマイクロ波プラズマ発生装置を提供することにある。

【0020】

【課題を解決するための手段】本発明のマイクロ波プラズマ発生装置は、内部が減圧された放電容器と、この放電容器内に区画された所定ガスのプラズマが形成されるプラズマ閉じ込め空間と、このプラズマ閉じ込め空間にマイクロ波を導入するように放電容器に片端部が装着された導波管とを備えたマイクロ波プラズマ発生装置において、導波管は、放電容器に装着された片端部近傍内部が放電容器内より低圧力に維持されていることを特徴とするものであり、また、内部が減圧された放電容器と、この放電容器内に区画された所定ガスのプラズマが形成されるプラズマ閉じ込め空間と、このプラズマ閉じ込め空間にマイクロ波を真空窓を介して導入するよう放電容器に片端部が装着された導波管とを備えたマイクロ波プラズマ発生装置において、真空窓が導波管の中間部に装着されると共に、導波管は放電容器に装着された片端部と真空窓が装着された中間部との間が空孔を有する管壁で形成され、且つ空孔を有する管壁が放電容器内より低圧力に維持された減圧容器内に配設されていることを特徴とするものであり、さらに、内部が減圧された放電容器と、この放電容器内に区画された所定ガスのプラズマが形成されるプラズマ閉じ込め空間と、このプラズマ閉じ込め空間にマイクロ波を真空窓を介して導入するよう放電容器に片端部が装着された導波管とを備えたマイクロ波プラズマ発生装置において、真空窓はプラズマ閉じ込め空間に形成されるプラズマを直視しない位置に設けられていることを特徴とするものである。

#### 【0021】

【作用】上記のように構成されたマイクロ波プラズマ発生装置は、導波管の放電容器に装着された片端部近傍内部が放電容器内より低圧力に維持されている構成としたことにより、放電容器に連通して同じ雰囲気状態となっている導波管の片端部の内部では、放電容器内にプラズマが生成される状態であっても放電容器内より低圧力であるためプラズマが生成されず、導波管内のマイクロ波の伝送が妨げられることがない。また、導波管の途中に装着される真空窓がプラズマを直視しない位置に設けられている構成としたことにより、放電容器内に生成されたプラズマに真空窓が直接晒されたり、プラズマの熱が当たることがなく、損傷を受けたり汚染されたりすることがない。このため、効率よくプラズマ密度を高くすることができ、また真空窓がプラズマによる損傷や汚染を受け難く、保守等に手間を必要としない。

#### 【0022】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面を参照して説明する。

【0023】先ず、第1の実施例のマイクロ波プラズマ発生装置を図1乃至図4により説明する。図1は概略構成を示す断面図であり、図2は拡大して示す要部斜視図であり、図3及び図4はそれぞれ導波管の接続管部の変形例を示す斜視図である。

【0024】図1及び図2において、放電容器21は略円筒状に形成された気密容器で、図示しないガス導入口からプラズマを形成する所定のガス、例えば水素ガス( $H_2$ )等が導入されるようになっている。また放電容器21は、内部が中間部に設けられた金属メッシュ22によって上下に仕切られていて、放電容器21内部の金属メッシュ22の上方側にプラズマ閉込め空間23が形成されるようになっている。

【0025】さらに、放電容器21の上板24の外面及び側壁25上部の外面には、それぞれ円環状の複数の永久磁石26が配着されており、これらの永久磁石26によってプラズマ閉込め空間23に、効果的にプラズマを閉じ込める磁界が形成されている。

【0026】一方、放電容器21の底板27には、バルブ28を介して真空ポンプ等の第1の排気装置29が装着されており、これにより放電容器21の内部が、例えば0.1Pa台に減圧されるようになっている。

【0027】また、放電容器21は、その上板24に開口30が形成されており、この開口30には、導波管31の片端側を構成する矩形の断面形状を有する接続管部32の片端が接続されている。接続管部32の他端には、導波管31の他端側を構成する同じく矩形の断面形状を有する主管部33の片端が接続されており、主管部33の他端は、例えば周波数が2.45GHzのマイクロ波を発生する図示しないマイクロ波発生部に接続されている。

【0028】そして、導波管31の接続管部32の他端と主管部33の片端との接続部位には、マイクロ波に対して透明な材料、例えばアルミナセラミック等である真空窓34が、その主面が導波管31のマイクロ波の伝送路に交差するように装着されており、これにより接続管部32の伝送路と主管部33の伝送路とは気密に分断されている。

【0029】一方、放電容器21に片端が接続された導波管31の接続管部32は、中間部分が略直角に折り曲げられた曲管状を有するもので、片端から他端が見通すことができないように形成されている。また接続管部32は管壁に直径が約1mm程度の多数の小孔35が穿設されている。なお小孔35の孔径は、導波管31内を伝送されるマイクロ波の伝送に実質的に影響を与えないように、波長の1/100以下程度の寸法に形成されていればよい。

【0030】そして、マイクロ波発生部で発生したマイクロ波が、導波管31の主管部33及び接続管部32内を伝搬し、途中真空窓34を透過して開口30から放電容器21内に導入されるようになっている。

【0031】また、放電容器21の上板24の上面側には、この上板24を底板とするようにして低圧容器36が設けられている。そして低圧容器36の内部に、その側壁を他端部分が気密に貫通するようにして導波管31

の接続管部 3 2 が配設されている。さらに低压容器 3 6 の側壁には、バルブ 3 7 を間に設けて真空ポンプ等の第 2 の排気装置 3 8 が取着されている。

【0032】この第 2 の排気装置 3 8 によって低压容器 3 6 の内部が排気され、この内部と管壁に形成された小孔 3 5 を介して連通している接続管部 3 2 の内部が、放電容器 2 1 の内部より低压の減圧された状態になるようになってい

る。  
【0033】このように構成された本実施例では、第 1 の排気装置 2 9 によって放電容器 2 1 内を 0.1 Pa 台の所定の圧力となるように減圧しておき、この状態を維持しながらプラズマを形成する水素ガスが放電容器 2 1 内に導入される。同時に第 2 の排気装置 3 8 によって低压容器 3 6 内を排気し、これに小孔 3 5 を介して連通している接続管部 3 2 内が放電容器 2 1 内よりも低压の状態に維持されている。

【0034】その後、マイクロ波発生源から導波管 3 1 の主管部 3 3 内及び接続管部 3 2 内を伝搬してきたマイクロ波が、導波管 3 1 の伝送路を途中で分断するように装着された真空窓 3 4 を透過し、開口 3 0 を介して放電容器 2 1 内に導入される。

【0035】そして、マイクロ波電界により電子が高エネルギーに加速され、放電容器 2 1 内に放電プラズマが生成される。この時生成された放電プラズマは、プラズマ閉込め空間 2 3 に永久磁石 2 6 の形成する磁界によって閉じ込められる。

【0036】このとき真空窓 3 4 は、放電容器 2 1 に接続された接続管部 3 2 の片端から見通すことができない他端に装着され、放電容器 2 1 の開口 3 0 からも見通すことができないように形成されているので、放電容器 2 1 内に生成されたプラズマに直接晒されたり、プラズマの熱が当たることがない。

【0037】このため熱的、機械的に弱い材料で形成された真空窓 3 4 が、プラズマによって損傷を受けて破損することがなくなり、その寿命が長いものとなる。さらに真空窓 3 4 の交換の頻度が少なくなって保守等の手間が少なくなる。

【0038】また、プラズマによってプラズマ閉込め空間 2 3 内に配置した金属試料等の表面をスパッタリングする場合や、試料表面に金属薄膜を気相成長で形成する場合などでも、真空窓 3 4 が金属で汚染されなくなり、これによってマイクロ波が放電容器 2 1 内に導入され難くなることなく

なる。  
【0039】さらに、真空窓 3 4 を透過した後の放電容器 2 1 のマイクロ波の伝送路は、管壁に小孔 3 5 が形成された導波管 3 1 の接続管部 3 2 で構成され、第 2 の排気装置 3 8 によって放電容器 2 1 よりも低压に維持できるようになっているので、プラズマを形成する水素ガスが存在していてもプラズマが形成され難い状態にすることができる。

【0040】このため、放電容器 2 1 内に生成するプラズマの密度をさらに高くしようとして放電容器 2 1 内のガス圧力やマイクロ波の電力を増大させても、接続管部 3 2 の内部圧力を第 2 の排気装置 3 8 によって放電容器 2 1 よりも低压に維持することで、接続管部 3 2 内にプラズマが生成する虞がない。

【0041】そして、接続管部 3 2 内にプラズマが生成されないのでマイクロ波の伝送が妨げられることがなく、放電容器 2 1 内のプラズマ密度をより高くする場合においても、マイクロ波の伝送が妨げられることなく、効率よく放電容器 2 1 内に生成するプラズマの密度を高くすることができる。

【0042】なお、本実施例では、導波管 3 1 の接続管部 3 2 を、矩形の断面形状を有し管壁に直径が約 1 mm 程度の多数の小孔 3 5 が穿設されているもので構成したが、これに限るものではなく、図 3 に斜視図で第 1 の変形例を示すようにマイクロ波の伝送に影響を与えない範囲で、波長に応じた空孔寸法の金属メッシュで接続管部 3 9 を構成してもよい。また、図 4 に斜視図で第 2 の変形例を示すように同じくマイクロ波の伝送に影響を与えない範囲で、円形の断面形状を有し管壁に多数の小円孔 4 0 が穿設されるようにして接続管部 4 1 を構成してもよい。さらに管壁に穿設する小孔についても特に円形である必要はない。

【0043】次に、第 2 の実施例を図 5 により説明する。本実施例はマイクロ波プラズマ発生装置で生成されたプラズマからイオンビームを引き出すイオン源で、図 5 はイオン源の概略構成を示す断面図である。

【0044】図 5 において、放電容器 5 1 は下側に外周にフランジ 5 2 を有する開口部 5 3 が形成された略円筒状の容器で、その内部が図示しない排気装置により、例えば 0.1 Pa 台に減圧されるようになってい

る。また放電容器 5 1 の内部には、図示しないガス導入口からプラズマを形成する所定のガス、例えば水素ガス ( $H_2$ ) 等が導入されるようになってい

る。  
【0045】さらに、放電容器 5 1 は上板 5 4 及び側壁 5 5 の外面に、それぞれ円環状の複数の永久磁石 5 6 が配着されている。これらの永久磁石 5 6 によって放電容器 5 1 の内部にプラズマを閉じ込めるための磁界が形成され、プラズマ閉込め空間 5 7 が区画されている。

【0046】また、放電容器 5 1 の下側の開口部 5 3 は、フランジ 5 2 に絶縁リング 5 6 を間に介在させて電極部 5 9 が取着されて閉塞されている。この電極部 5 9 は、複数の電極 6 0 がそれぞれの間が絶縁部材 6 1 によって絶縁分離されている。なお電極 6 0 は中央部分に複数のイオン引出孔 6 2が穿設されている。

【0047】一方、放電容器 5 1 は、第 1 の実施例と同様にその上板 5 4 に開口 3 0 が形成されていて、この開口 3 0 には、導波管 3 1 の略直角に折り曲がった曲管で管壁に多数の小孔 3 5 が穿設された接続管部 3 2 の片端

が接続されている。接続管部 3 2 の他端には主管部 3 3 の片端が接続されており、主管部 3 3 の他端は、例えば周波数が 2.45 GHz のマイクロ波を発生する図示しないマイクロ波発生部に接続されている。

【0048】そして、接続管部 3 2 と主管部 3 3 との接続部位には、マイクロ波に対して透明な材料、例えばアルミナセラミック等である真空窓 3 4 が、その主面が導波管 3 1 のマイクロ波の伝送路に交差するように装着されており、これにより接続管部 3 2 の伝送路と主管部 3 3 の伝送路とは気密に分断されている。

【0049】また、放電容器 5 1 の上板 5 4 の上面側には、この上板 5 4 を底板とするようにして低压容器 3 6 が設けられ、低压容器 3 6 の内部に接続管部 3 2 が配設されている。そして低压容器 3 6 の側壁には、バルブ 3 7 を間に設けて真空ポンプ等の排気装置 6 3 が取着されている。

【0050】この排気装置 6 3 によって低压容器 3 6 の内部が排気され、この内部と管壁に形成された小孔 3 5 を介して連通している接続管部 3 2 の内部が、放電容器 5 1 の内部より低压の減圧された状態になるようになっている。

【0051】このように構成された本実施例では、図示しない排気装置によって放電容器 5 1 内を 0.1 Pa 台の所定の圧力となるように減圧しておき、この状態を維持しながらプラズマを形成する水素ガスが放電容器 5 1 内に導入される。同時に排気装置 6 3 によって低压容器 3 6 内を排気し、これに小孔 3 5 を介して連通している接続管部 3 2 内が放電容器 2 1 内よりも低压の状態に維持されている。

【0052】その後、マイクロ波発生源から導波管 3 1 内を伝搬してきたマイクロ波が、導波管 3 1 の伝送路を途中で分断するように装着された真空窓 3 4 を透過し、開口 3 0 を介して放電容器 5 1 内に導入される。

【0053】これによりマイクロ波は、電子を高エネルギーに加速され、放電容器 5 1 内に放電プラズマが生成される。この時生成された放電プラズマは、プラズマ閉込め空間 5 7 に永久磁石 5 6 の形成する磁界によって閉じ込められる。

【0054】そして、プラズマ閉込め空間 5 7 に閉じ込められたプラズマから水素イオンが電極 6 0 を通過しながら加速され、イオン引出孔 6 2 から外部にイオンビームとして引き出される。

【0055】上述のように本実施例は構成されているので、第 1 の実施例と同様に真空窓 3 4 が、プラズマによ

って損傷を受けなくなり、その交換の頻度が少なくなっ  
て保守等の手間が少なくなる。また放電容器 5 1 内の  
プラズマ密度をより高くする場合でも、マイクロ波発生  
部の電力を徒に大きくする必要もなく、効率よくこれを行  
うことができる。

【0056】尚、本発明は上記の各実施例のみに限定さ  
れるものではなく、要旨を逸脱しない範囲内で適宜変更  
して実施し得るものである。

【0057】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明  
は、導波管の放電容器に取着された片端部近傍内部が放  
電容器内より低圧に維持されている構成としたことによ  
り、また、導波管の途中に装着される真空窓がプラズ  
マを直視しない位置に設けられている構成としたことによ  
り、効率よくプラズマ密度を高くすることができ、また  
真空窓がプラズマによる損傷や汚染を受け難く、保守  
等に手間を必要としない等の効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施例の概略構成を示す断面図  
である。

【図 2】同上における導波管の接続管部の斜視図であ  
る。

【図 3】同上における導波管の接続管部の第 1 の変形例  
を示す斜視図である。

【図 4】同上における導波管の接続管部の第 2 の変形例  
を示す斜視図である。

【図 5】本発明の第 2 の実施例の概略構成を示す断面図  
である。

【図 6】従来技術の第 1 の例の概略構成を示す断面図で  
ある。

【図 7】従来技術の第 2 の例の概略構成を示す断面図で  
ある。

【符号の説明】

- 2 1 … 放電容器
- 2 3 … プラズマ閉込め空間
- 2 9 … 第 1 の排気装置
- 3 1 … 導波管
- 3 2 … 接続管部
- 3 3 … 主管部
- 3 4 … 真空窓
- 3 5 … 小孔
- 3 6 … 低压容器
- 3 8 … 第 2 の排気装置